2008년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집 2008. 7. 16 - 18

자계를 이용한 누전특성조사

김탁용*, 오용철*, 정한석*, 윤수진**, 유재식**, 최명호, 지용한**
(주)주암전기통신*, 한국전력**

Research of Electric Leakage Characteristic by Magnetic Field

Tag-Yong Kim*, Yong-Chul Oh, Han-Seok Jeong, Su-Jin Yun, Jae-Sik Yoo, Myeong-Ho Choi, Yong-Han Ji**
Juam Tech Co., Ltd.*, Koera Electric Power Co.**

Abstract - 매년 증가하고 있는 누전사고에 대한 대책수립을 위해 누전검출장치 및 누전조사작업을 시행하고 있지만, 대부분 전압변화 및 영상전류 및 z임피던스에 의한 계측이 주를 이루고 있다. 본 논문에서는 누전지역에서의 누설전류에 자속밀도 분포를 조사함으로 손쉬운 누전검출장비 개발 및 비접촉에 의한 누전검출장비 개발과 누전환경에서의 기초 연구자료를 제공하고자 정상선로에서의 자속밀도 분포 및 전압변화에 따른 자속밀도 분포를 조사하였다. 그 결과 정상도선에서는 거리변화에 따른 자속밀도가 감소하였으며, 이에 반해 침수된 누전지역에서는 자속밀도변화가 거의 없음을 확인할 수 있었으며, 전압 증가에 따라 누전지역의 전류값이 정상상태보다 더 크게 변화하는 것을 확인할 수 있었다.

1. 서 론

감전사고의 대부분은 전기설비의 고장으로 누전이 되어 대지 전위의 상승 또는 충전부와 접촉함으로써 허용치를 초과하는 인체전류의 크기와 통전시간에 의해 사람의 안전에 부정적인 영향을 미치게 되므로 각국에서는 감전모델과 관련된 안전기준을 마련하여 감전위험성 분석 및 평가를 시행하고 있다. 그러나 도시 미관과 전선 상호간의 접촉사고예방을 지중 전선로가 급증하고, 지상에는 이를 통제하기 위해 맨홀, 지상변압기 등과 같은 지상물이 늘어나고 있을 뿐만 아니라, 저압 접속함 내 지중케이블 접속 불량, 지중 저압선로 훼손 및 임시 선로, 운휴 저압케이블 매설부분, 보도의 잦은 굴착, 침수에 의한 장치 훼손 등과 같은 이류로 매년 감전사고에 의한 사망, 부상 등의 인명피해와 재산피해가 증가하고 있다. 2006년 한전 조사 결과, 임의의 변압기 2,898대 공급선로 중 누전 의심 개소로 약 40%인 1132개소가 발견되었으며, 0.5A-5A의 누설전류 개소가 531 개소, 5A 초과가 49 개소로 치사전류 이상인 개소가 무려 20%에 해당하는 580개소나 되었다. 그러나 현재 누전검출장비는 대형기기이거나 소형의 경우 대지전압 및 영상전류계를 이용한 누전탐지가 대부분을 차지하고 있으며, 표면에 누설되고 있는 전류에 대한 검출장치는 없다. 또한 누전전압 측정기의 경우 누전예상지역에 직접 전극을 접촉시켜 검침하기 때문에 사용자의 부주의에 의해 감전의 위험성이 있다는 문제점이 있다.

이에 본 논문에서는 누전환경에서 발생되는 누설전류를 비접촉식으로 검출할 수 있는 장비의 개발을 위해 누설전류가 존재할 때 주변 특성조사를 실시하였다. 누전환경은 우천시에 쉽게 발생할 수 있는 물웅덩이 및 침수지역에 대한 수면전류를 검출하기 위해 모의 수조를 제작하여 수면에 누설전류를 발생시켜서 실험하였다. 조사방법은 표면 누설전류가 존재할 때 누설표면으로부터 3cm이격시킨 지점에서의 자속밀도를 플럭스 게이트를 이용하여 조사하였으며, 위치 변화에 따른 자속변화를 조사하였다. 이 실험을 통해 얻은 데이터는 추후 표면누설전류가 존재하는 지역과 정상전류 지역을 명확하게 구분할 수 있을 뿐만 아니라 표면전류 측정장치 개발을 위한 기초자료로 사용될 것으로 생각된다.

2. 본 론

육상에서의 감전현상은 인체의 일부가 노출된 충전부 또는 누전 등의 원인으로 비충전 금속부가 충전된 상태에서 접촉하면 발생한다. 그러나 수중 및 수면에서의 감전현상은 인체와 충전부 사이에 도전성 액체, 예를 들어 해수로 인해 항상 접촉하고 있기 때문에 충전부에 접촉하지 않아도 감전되는 것을 추정하고 있다.

2.1 충전된 금속에 인체가 접촉하는 경우

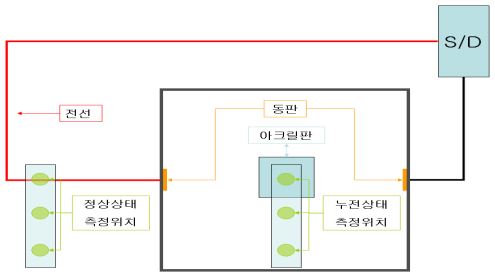
지상변압기 및 신호등에 누설전류가 존재할 경우 발은 지면에 접지되어 있고, 한손은 누전에 의해 충전된 기구물에 접속되어 감전사고가 발생하는 경우이다. 이 경우 통전경로가 손-손 또는 손-발인 경우로 감전될 수 있으며, 자체적인 감전사 보다는 감전으로 인한 추락사고와 같은 2차 사고의 위험이 더 큰 감전형태이며, 대부분의 기기에 안전장치가 장착되어 있어 큰 누설전류가 존재하면, 안전장치의 작동으로 큰 피해를 억제할 수 있다.

2.2 수면 누설전류에 의해 발생된 전계 및 전위 중에 인체가 놓여진 경우

우천시 지중 전선로의 누설전류가 지중으로 통전되거나, 맨홀 및 가로등 침수로 인해 수면에 누설전류가 존재하여 감전사고가 발생하는 경우이다. 이 경우 예기치 못한 지면으로의 감전이 주로 발생되며, 수중에서는 인체가 동일 전계중에 놓여진 경우이므로 감전에 의한 이탈 및 탈피가 어려운 형태이다. 또한 우천 및 수중 상태로 인해 신체 및 대기가 젖어있기 때문에 인체저항이 낮아지므로 감전 위험 및 감전을 통한 누설전류값이 매우 높아지게 된다.

2.3 실험 장치.

본 실험의 목적은 우천 및 침수에 인한 누설전류가 존재하는 경우를 모의한 것으로 크기가 100*100*75[cm]인 물탱크에 수돗물을 채우고, 물탱크 양쪽 끝에 단자를 연결하여 수중에 누설전류가 존재할 수 있도록 설치하였다.



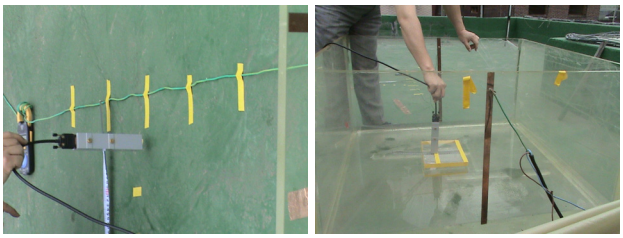
〈그림 1〉 실험장치 모식도

동일 조건에서 일정전류가 누설되도록 하기 위해 염화나트륨을 수돗물에 첨가하여 저항이 20㏀이 되도록 제작하였으며, 슬라이닥스를 이용하여 전압을 변화시켰다. 수면에서 전류변화에 따른 플럭스를 측정하기 위해 플럭스게이틀 사용하여 오실로스코프와 데이터 acquisition 보드를 이용하여 컴퓨터로 측정하였으며, 측정위치를 일정하게 하기 위해서 수중에서 3cm이격되도록 아크릴 함을 만들어 물탱크 중앙에 배치하였다. 측정은 정상전선으로부터 3cm이격한 후 통전전선과 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50 [cm] 이동하면서 각각의 위치에서의 플럭스 변화를 조사하였다. 침수지역은 물탱크 중심으로부터 측면으로 정상전선과 동일 거리를 이동시키면서 측정하였다. 표 1은 측정거리 및 측정전류에 대하여 나타내고 있으며, 사진 1은 측정모습을 촬영한 것이다.

〈표 1〉 측정조건

인가전압	A전압	B 전압	수중저항[kΩ]	도선전류[㎃]
200	100	100	20	100
150	60	60		75
100	43	43		50
50	25	25		25

A : 물탱크 중심과 접지간 전압
B : 물탱크 측면(중심과 50[㎝]지점)과 접지간 전압

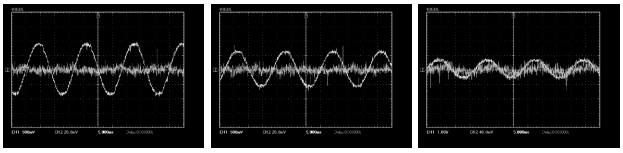


(a) 정상상태 (b) 누전상태

〈사진 1〉 플럭스게이트 측정사진

2.4 결과 및 고찰

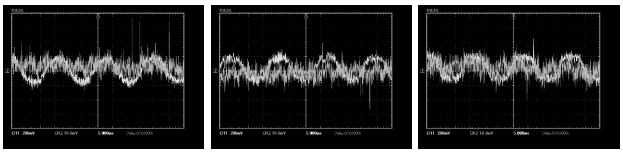
2.4.1 이격거리 변화에 따른 플럭스 변화



(a) 0 [cm] (b) 5 [cm] (c) 10 [cm]

〈그림 2〉 정상상태에서 이격거리에 따른 플럭스

전압을 50[V]를 인가할 때의 정상전선 주변에 발생하는 플럭스를 그림 2에서 나타내고 있다. 플럭스는 지면으로부터 발생되므로 2차원으로 측정하였으며, x축은 전선과 수직한 방향, y축은 전선과 평행한 방향으로 측정하였다. 그림 (a)는 전선 바로 위에서의 플럭스를 나타내고 있으며, x축의 크기는 10[uT]이며, 전선으로부터 5[cm], 10[cm]로 이격 시켰을 때 x축 플럭스는 각각 6[uT], 4[uT]로 1.6 [uT/cm]의 크기로 감소되는 것을 확인할 수 있었다. 이에 반해 전선과 수평한 방향의 플럭스는 이격거리에 따른 크기 변화가 없이 대부분 노이즈 형태로 나타남을 확인할 수 있었다.

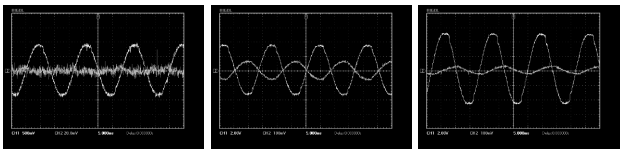


(a) 0 [cm] (b) 5 [cm] (c) 10 [cm]

〈그림 3〉 누전상태에서 이격거리에 따른 플럭스

전선 양단에 50[V]를 인가할 때 물탱크에서 중심과 대지저항은 25[V]로 감소하였으며, 물탱크 내부에서의 전위분포는 동일한 형태를 나타내고 있었다. 물탱크 수면에서 흐르는 누설전류에 의한 플럭스를 조사한 결과 그림 3과 같이 x축방향의 플럭스는 거리 변화에 관계없이 모두 2[uT]의값을 나타내었으며, y축 방향의 플럭스도 정상상태에 비해 전류에 의한 60[Hz] 파형을 나타내고 있으나, 그 노이즈 신호에 비해 매우 미약한 값을 나타내므로 측정이 불가능하였다.
정상상태와 누전상태에서의 플럭스 조사결과 정상상태일 때 플럭스는 전선주변에서만 존재하고 전선과의 거리가 떨어짐으로 인해 플럭스의 크기는 크게 떨어지지만, 누전상태에서의 플럭스는 수면주변이 거의 비슷한 플럭스를 나타냄을 확인할 수 있었다. 이러한 현상은 정상상태일 때 모든 전류는 도선을 통해 흐르고 주변의 누설전류가 없으므로 거리에 비례하여 자속이 감소하지만, 누전상태에서는 수면으로 인해 동일한 저항이 병렬로 연결된 형태가 되므로 전류가 넓게 분포되어 흐르기 때문이라고 생각되어진다. 이러한 특성은 플럭스의 크기에서도 알 수 있듯이 동일 조건하에서 정상도선에서는 10[uT]의 자속밀도가 나타나지만, 수면에서는 2[uT]로 감소되는 현상을 통해서도 알 수 있다.

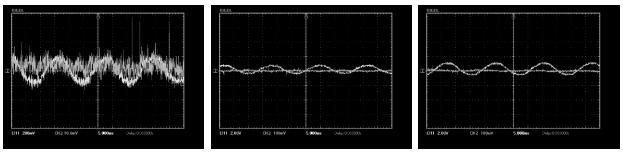
2.4.2 인가전압 변화에 따른 플럭스 변화



(a) 50 [V] (b) 150 [V] (c) 200 [V]

〈그림 3〉 정상상태에서 전압변화에 따른 플럭스

그림 3의 인가전압이 증가됨에 따른 전선 위에서의 플럭스 변화를 나타내고 있다. x축방향의 자속밀도는 50[V]에서 10[uT]이 나타나다가, 200[V]로 전압을 상승하면 50[uT]로 증가하였다. 또한 y축 방향의 자속밀도는 전압이 100[V]에서부터 노이즈보다 큰 자속밀도가 나타나다가 120[V]이상부터는 큰 자속밀도가 검출되었다. 그러나, y축의 자속은 전압변화에 따라 불규칙적인 특성을 나타냈다. 이는 3[cm]이격에 따른 정확한 수평방향이 아니라 전선으로부터 일정각도를 유지하고 있기 때문에 나타나는 현상으로 생각되어진다.



(a) 50 [V] (b) 150 [V] (c) 200 [V]

〈그림 4〉 누전상태에서 전압변화에 따른 플럭스

누전상태에서의 자속밀도는 그림 4에서 보는 바와 같이 2[uT]의 자속이 150[V], 200[V]로 증가하면서 각각 10[uT], 13[uT]로 증가하였다. 이는 앞에서 설명한 바와 같이 수면에서의 전압이 인가전압에 비해 작아지면서 전류값이 비례적으로 감소하기 때문이라고 생각된다.
정상상태에서의 자속밀도는 3.7[V/uT]로 증가하였으며, 누전상태는 13[V/uT]로 전압변화에 따른 자속밀도 증가는 수중누전상태에서 더 크게 나타남을 확인할 수 있었다. 이러한 현상은 전압의 증가에 따라 수중에서 전류 진행방향이 최단거리로 집중되기 때문이라고 생각된다.

3. 결 론

수면 누전환경하에서 자속밀도 분포를 조사한 결과 정상전선에서의 자속은 거리변화에 따라 급격히 감소하는 현상을 확인할 수 있었으며, 전압변화에 따른 자속밀도는 수면에서 크게 증가됨을 확인할 수 있었다. 이러한 현상을 통해 침수지역이나 지면수면이 존재하는 지역에서의 누전환경은 자장의 분포변화를 통해 충분히 숙지할 수 있을 것으로 생각되며, 침수누전의 경우 누전전류의 증가가 급격히 증가하는 현상을 확인할 수 있으므로 침수지역에 대한 안전대책도 매우 중요한 것을 확인할 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 한국전력공사 중소기업지원과제개발사업(과제번호:KEPCO-07C-19)의 지원에 의하여 이루어진 연구로서, 관계부처에 감사드립니다.

[참 고 문 헌]

[1] 김두현, 강동규, “침수된 전기설비의 누전으로 인한 수중에서의 감전특성에 관한 연구”, 산업안전학회지, 제17권, 제3회, pp.61-65, 2002
[2] 대한전기협회, “수배전전력계통 접지시스템과 인체 및 기기의 안전성에 관한 연구”, 산업자원부, 2007
[3] 한국전기안전공사, “지하구내 전기설비의 침수에 의한 2차재해에 대한 안전성 연구”, 산업자원부, 2007